

Experimentelle Untersuchungen
zur tomographischen Darstellbarkeit von
Knochendefekten, Arrosionen und
Frakturlinien am Gesichtsschädel bei
Schichtaufnahmen mit
hypozyklorder Verwischung

Wolfgang Illichmann

1976

AUS DER KLINIK UND POLIKLINIK
FÜR RADIOLOGIE
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Professor Dr. J. Lissner

"Experimentelle Untersuchungen zur tomographischen Darstellbarkeit von Knochendefekten, Arrosionen und Frakturlinien am Gesichtsschädel bei Schichtaufnahmen mit hypozykloider Verwischung"

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnmedizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Wolfgang Illichmann
aus München

München 1976

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Frey

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Lissner

Dekan: Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juli 1976



INHALTSÜBERSICHT

- I. Einleitung
- II. Tomographie
 - 1. Theorie der Röntgenschnittbildtechnik
 - 2. Probleme der Detailerkennbarkeit
 - 3. Einschätzung der einzelnen Verfahren
- III. Zur Diagnostik von Tumoren der Nasennebenhöhlen
- IV. Tomographie bei Frakturen am Gesichtsschädel
- V. Eigene Untersuchungen
 - 1. Untersuchungsmaterial und Versuchsaufbau
 - 2. Versuchsmethodik
 - 3. Lokalisation der künstlich gesetzten Defekte und Frakturen (Bezeichnungen und Abbildungen)
 - 4. Auswertung (Ergebnisse, Tabellen und Skizzen)
- VI. Diskussion
- VII. Zusammenfassung
- VIII. Literaturverzeichnis



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553812_0071

I. EINLEITUNG

Die Röntgenübersichtsaufnahme stellt eine Projektion eines dreidimensionalen Körpers auf eine Fläche, den Röntgenfilm, dar. Durch dieses zwangsläufige Ineinanderprojizieren verschiedener übereinanderliegender Objektstrukturen - besonders am Schädel - entsteht ein Summationsbild, das für die Diagnose wegen unzureichender Analysierbarkeit wichtiger Details oft keinen Aussagewert besitzt. Es ist daher ein entscheidender diagnostischer Fortschritt, daß man mit Hilfe der Tomographie bestimmte Schichten eines Körpers scharf abbilden kann, wobei tiefer- bzw. höhergelegene Strukturen verwischt werden.

Die Idee des Schichtbildes geht auf das Jahr 1921 zurück, als BOCAGE erstmals in seiner Patentschrift seine Vorstellungen darlegte. Als weitere Pioniere auf diesem Gebiet gelten: F. PORTAIS (1922), J. KIEFFER (1929), A. VALLEBONA (1930), ZIEDSES DES PLANTES (1931), BARTELINK (1933), GROSSMANN (1934), VIETEN. Durch immer differenziertere Techniken der Tomographie wurden auch die Möglichkeiten, kleine Knochendefekte im Bereich des Schädels genau zu lokalisieren, erfolgversprechender als es vorher der Fall war.

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. Frey habe ich experimentelle Untersuchungen zur tomographischen Darstellbarkeit von Knochendefekten, Arrosionen und Frakturlinien am Gesichtsschädel bei Schichtaufnahmen mit hypozyklöider Verwischung durchgeführt.

Die Arbeit hatte folgende Ziele:

1. Herauszufinden, ab welcher Größe und in welchen Projektionen knochendestruierende Defekte bei verschatteter Kieferhöhle tomographisch nachweisbar sind. (JÄKEL untersuchte Defekte an einer pneumatisierten Kieferhöhle) Hierbei sind evtl. auftretende Unterschiede bei den Ergebnissen der pneumatisierten und der verschatteten Kieferhöhle und deren Ursachen von besonderem Interesse.
2. Der Knochen in der Umgebung der Defekte wurde arrodirt soweit es die Knochendicke zuließ, um festzustellen, inwieweit sich eine flächenhafte Destruktion unter erschwerten Bedingungen (Verschattung der Kieferhöhle) auf die Detailerkennbarkeit des Defekts auswirkt.
3. Es wurden Frakturen am Gesichtsschädel angebracht, um herauszufinden, ob und worin eine Mehrinformation des Tomogramms im Vergleich zu Übersichtsaufnahmen besteht.

Zunächst werden einige Begriffe der Tomographie erläutert und Probleme der Detailerkennbarkeit aufgezeigt. Für besonders Interessierte liegen ausführliche rechnerische und experimentelle Untersuchungen vor

Auf die Diagnostik der Tumoren der Kieferhöhle und Frakturen des Gesichtsschädels wird kurz Bezug genommen.

II. TOMOGRAPHIE

1. Theorie der Röntgenschnittbildtechnik

GROSSMANN (13) entwarf 1935 den Tomographen in der Erkenntnis, daß bislang zwar geometrische Betrachtungen angestellt wurden, aber zu wenig die Erfordernisse der medizinischen Praxis und die technischen Möglichkeiten berücksichtigt wurden. Seine Grundidee findet bis heute Anwendung.

Das Prinzip der gekoppelten Bewegung von Röhrenfocus (F_1 - F_3) und Filmmittelpunkt (O_1 - O_3) um einen frei wählbaren Drehpunkt D ist in Abb. 1 dargestellt. Hierbei bleibt der Film stets zu sich selbst und der Ebene II parallel. In der gleichen Zeit, in welcher der Röhrenfocus das Kreisbogenstück $F_1F_2F_3$ (Halbmesser R) beschreibt, bewegt sich der Filmmittelpunkt auf einem Kreisbogenstück von O_1 über O_2 zu O_3 (Halbmesser r). Das Verhältnis der Strecken Focus-Körperschnitt zu Körperschnitt-Filmmittelpunkt ist immer A:a. Es stellt die gleiche Situation dar, als würde sich der Röhrenfocus in der Ebene I und der Film sich in der Ebene III bewegen.

Zum Beweis der scharfen Abbildung der Ebene II (Schichtebene) auf dem Film gilt der Satz von ähnlichen Dreiecken aus der Geometrie: Die Dreiecke F_1DG und $F_1O_1G_1$ sind ähnliche Dreiecke. Nach dem Geometriesatz ist daher das Verhältnis der Strecken DG zu O_1G_1 gleich dem von F_1D zu F_1O_1 . Dieser Satz hat während der Röhren-Filmbewegung nur Gültigkeit für die Punkte in der Ebene II - in ihr liegt der Drehpunkt D.

Dadurch werden die Punkte in der Schichtebene scharf abgebildet, Punkte außerhalb dieser verwischt. Abb. 1a zeigt die Projektion der Focusbahn auf die Ebene III

(Filmebene). Abb. 1b verdeutlicht die Bewegung des Filmmittelpunktes O und des Röntgenschnittens von G und X im Verlauf der Focusbewegung von F_1 nach F_3 in der Ebene III. Abb. 5c erklärt das Zustandekommen der scharfen bzw. verwischten Röntgenbilder von D, P, G und X (das von D fällt mit O zusammen).

O, D und G werden dabei scharf abgebildet, da sie in der Schichtebene liegen.

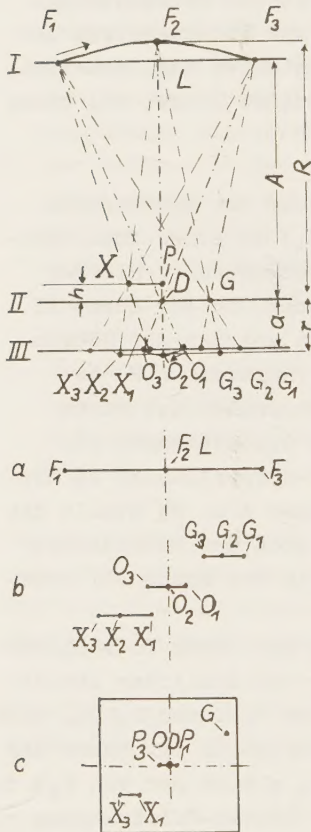


Abb. 1

2. Probleme der Detailerkennbarkeit

In der Literatur ist man sich darüber einig, daß die Schichtaufnahme der Kieferhöhle das Summationsbild (Übersichtsbild) nur **z u s ä t z l i c h** unterstützen kann. Sie ist nur für spezielle Fragestellungen in Betracht zu ziehen, wobei der Defekt in wenigstens zwei Ebenen geschichtet werden soll, um Fehldiagnosen auszuschließen (24, 126, 3, 27).

SWART (28) stellt das Postulat auf, so viel wie nötig aber so wenig wie möglich zu tomographieren, da jede Tomographie eine Bildverschlechterung bedeutet.

Der Schädel beinhaltet mannigfache strukturelle Eigenheiten, welche die Detailerkennbarkeit stark beeinflussen. Diese können aber nicht geändert werden, es sei denn in gewissen Grenzen durch entsprechende Lagerung des Patienten. Was die verschiedenen Projektionsrichtungen bei der Schädeltomographie betrifft, sei auf die Arbeit von REISNER und GOSEPATH (24) verwiesen.

REISNER weist bei seinen experimentellen Untersuchungen auf die unterschiedlich dicken, mehr bzw. weniger absorbierenden Schädelknochen und die Neigungs- bzw. Krümmungswinkel der wechselnd geneigten Wandungen hin, die entscheidenden Einfluß auf die Detailerkennbarkeit haben.

Hieraus wird die Abhängigkeit der Detailerkennbarkeit besonders des Schädeltomogramms von der tomographischen Technik klar, die das Ziel hat, die Strukturen innerhalb der Schichtebene möglichst scharf darzustellen und die außerhalb möglichst wirksam zu verwischen.

A u ß e r h a l b der Schichtebene liegende Objektstrukturen werden entsprechend ihrem Abstand zur Schichtebene

eine gewisse Strecke über den Film gewischt und je nach Entfernung zur Schichtebene, Dicke und Dichte der Struktur gehen sie früher oder später in der Grundschwärzung des Films unter (28). Die Strukturen werden um so wirkungsvoller verwischt, je komplizierter (=länger) der Weg ist, den die Störschatten auf dem Film zurücklegen. Tabelle 1 zeigt die Focusweglängen am POLYTOME bei verschiedenen Verwischungsfiguren, aber ähnlichen Pendelwinkeln.

Pendel- winkel	Verwischungs- figur	Focus- weglänge
40°	—	77 cm
40°	○	186 cm
36°	○	217 cm
48°	⊗	451 cm

Tab. 1 (nach SWART)

Als Maß für die Verwischung dient der g e o m e t r i - s c h e V e r w i s c h u n g s g r a d nach GROSS-MANN (14): Er gibt die Gesamtfläche an, die ein Störschatten, in Relation zu seiner eigenen Größe gesetzt, bestreicht. Je größer diese Fläche ist, desto mehr werden Einzelheiten in der Nähe der Schichtebene verwischt. Nach VIETEN (32) bedeutet das eine Zunahme des V e r w i s c h u n g s g r a d i e n t e n : Der Übergang der scharf abgebildeten Strukturen in der Schichtebene zu solchen in höher bzw. tiefer gelegenen Schichten wird steiler.

Somit wird der Einfluß des Verwischungsgradienten auf die Detailerkennbarkeit deutlich: Je länger der Focusweg ist - das bedeutet eine möglichst komplizierte Ver-

	Summation bild	Zono- graphie linear	Zono- graphie kreisf.	Tomo- graphie linear	Tomo- graphie kreisf.
Schicht- dicke					
Geometr. Ver- wischung					
Kontrast					

Abb. 2 (nach SWART)

wischungsfigur - umso größer wird der Verwischungsgrad. Damit verbunden ist ein entsprechend steiler ansteigender Verwischungsgradient; aus diesem resultiert eine bessere Verwischung der Strukturen, die sich in unmittelbarer Nähe der Schichtebene befinden. Letzten Endes bedeutet das bessere D e t a i l e r k e n n b a r k e i t.

Nicht zu übersehen ist hierbei der Kontrastverlust, der mit dem Verwischungsgrad einhergeht. Er ist umso größer, je besser verwischt wird. Abb. 2 soll dies verdeutlichen.

Außerdem bedeutet ein großer Pendelwinkel hohen Kontrastverlust.

ZIEDESES DES PLANTES (36) erkannte in den 30er Jahren, daß nur solche Objektgrenzen auf dem Röntgenfilm scharf abgebildet werden, die vom Zentralstrahl tangential getroffen werden (T a n g e n t i a l e f f e k t). Da sich bei der Tomographie der Röhrenfocus auf einem genau definiertem Weg um das Objekt bewegt, kann der Zentralstrahl innerhalb der Schichtebene mehr Objektgrenzen tangential erfassen als bei der Summationsaufnahme. Hieraus folgt: Je größer der Pendelwinkel ist, umso mehr Grenzflächen können tangential getroffen werden. Aus diesem Grund müssen tomographisch darzustellende Strukturen nicht grundsätzlich in einem Winkel von 90° zur Schichtebene liegen. Nach STIEVE (26) kann der Krümmungs- bzw. Neigungswinkel einer Wandung bis zur Hälfte des Pendelwinkels betragen, ohne daß die Detailerkennbarkeit allzu sehr beeinträchtigt wird. Der o. g. Forderung nach großem Pendelwinkel steht der damit verbundene Kontrastverlust entgegen. Hier gilt es, einen Kompromiß zu finden.

3. Einschätzung der einzelnen Verfahren

Nicht jedes Verfahren ist gleich leistungsfähig. Doch nicht jede Fragestellung benötigt den großen Aufwand komplizierter Geräte. Den Vorzug der mehrdimensionalen Verwischungsart (z. B. kreisförmig, hypozykloid), im Bereich der Nasennebenhöhlen stellt kein Autor in Frage. (4, 11, 21, 24).

SWART empfiehlt, nicht mehr als nötig zu verwischen.

Er faßt die Eigentümlichkeiten der einzelnen Verfahren kurz zusammen:

1. "Kleiner Winkel, lineare Focusbewegung:
weit von der Schicht entfernt gelegene Störschatten hoher Dichte werden gut verwischt, nahe gelegene luft- oder weichteildichte stören nicht.
2. Kleiner Winkel, kreisförmige Focusbewegung:
Störschatten hoher Dichte werden in der Nähe besser verwischt als bei der linearen, sind aber als Schatten noch gut zu sehen. Entfernte dichte Störschatten werden gut verwischt.
3. Großer Winkel, lineare Focusbewegung:
entfernt gelegene dichte Schatten werden gut verwischt, nahe gelegene neigen wegen der Vorzugsrichtung zum Durchwischen in der Bildebene. Wenig dichte werden in der Nähe gut verwischt, neigen aber zum Durchwischen, wenn sie Längsstruktur haben und in die Schichtebene hereinragen.
4. Großer Winkel, mehrdimensionale Focusbewegung:
ausgezeichnete Verwischung dichter Störschatten, auch nahe der Schichtebene."

Der Vorzug eines Gerätes mit hypozykloider Verwischungsfigur besteht in der bisher bestmöglichen Detailerkennbarkeit, die u. a. durch Entfallen gerichteter Störschatten erreicht wird. Dies ist bei der Schädeltomographie unumgänglich.

Für REISNER und GOSEPATH (24) ist die Anwendung mehrdimensionaler Verwischungsarten bei der Schädeltomographie deshalb wichtig, da bei der linearen Zonographie durch gerichtete Störschatten zu viele Täuschungsmöglichkeiten gegeben sind, die eine Analyse des Bildes oft nicht erlauben. Sie erzielten bei ihren experimentellen Untersu-

chungen am Schädel die besten Ergebnisse mit hypozykloider Verwischung.

Im Bereich der Otologie unterstreichen FREY und MÜNDICH (10) die Vorteile der polyzyklischen Verwischung.

III. ZUR DIAGNOSTIK VON TUMOREN DER NASENNEBENHÖHLEN

Die Früherkennung maligner Tumoren im Bereich des Schädels birgt große Schwierigkeiten in sich. Um bei der tomographischen Untersuchung trotzdem diagnostisch befriedigende Ergebnisse zu erhalten, ist die Kenntnis bzw. Beachtung

1. der klinischen Symptomatik
2. der verschiedenen Röntgensymptome (für Differenzialdiagnose wichtig)
3. der Lokalisation und der typischen Ausbreitungsrichtung des Tumors wichtig.

ad 1. Klinische Symptomatik

Einen Hinderungsgrund für frühzeitige Diagnose stellen die meist erst zu spät eintretenden und oft nicht klar ausgeprägten klinischen Symptome dar.

ZIPPEL (37) fand bei seinen statistischen Erhebungen, daß nur 2,9 % der Fälle rechtzeitig behandelt werden können. WUSTROW (33) gibt eine 5-Jahresheilung bei 85 untersuchten Patienten mit 29,4 % an. Auf Grund ihrer Untersuchungen rechnen LARSSON und MARTENSSON (17) nur bei 23 % , ALBRECHT (1) nur bei etwa 20 % mit einer Heilung.

Die ersten Anzeichen eines Kieferhöhlen-Karzinoms sind identisch mit denen der relativ häufig auftretenden Sinusitis. Daraus erklärt sich die oft zu spät einsetzende Therapie.

Je nach Ausbreitungsrichtung kann man äußerliche Entstellungen (Nase, Auge), Lockerung von Zähnen, blutiges

Nasensekret und Kieferklemme beobachten. Daneben sind neurologische Ausfälle, schwer lokalisierbare Schmerzen und ophtalmoneurologische Symptome von Bedeutung. Diese werden durch die Einbeziehung der Trigeminusäste ausgelöst. REISNER (24) hält daher den Vergleich des röntgenologischen Befundes mit der neurologischen Symptomatik stets für angezeigt.

ad 2. Röntgensymptome

MASSOL und Mitarbeiter (19) weisen auf die klinischen wie radiologischen Schwierigkeiten hin, die bei der Differenzialdiagnose Entzündung/Tumor auftreten können. Demineralisation, Usuren und Weichteilverschattungen im Röntgenbild sind zwar typisch, nicht aber artspezifisch für Tumoren. Destruktionen in Verbindung mit infiltrativer Knochenauflockerung ist dagegen als spezifisch für Malignome anzusehen.

REISNER und GOSEPATH (24) halten zwei Röntgensymptome für die Beurteilung von Tomogrammen bei Nasennebenhöhle-tumoren für besonders wichtig: I n f i l t r a t i o n und S k l e r o s e .

Die durch die Infiltration entstehenden Charakteristika (schwammartig verdickter Knochen und unscharfe "aufgefranzte" Randkonturen) stellen sich tomographisch als "porenartige" Defekte, entsprechend multiplen Destruktionen, dar. Sie erweisen sich als sichere Hinweise auf maligne Tumordinfiltration.

In diesem Zusammenhang sei auf das Ziel dieser Arbeit verwiesen: Herausfinden, ab welcher Größe Destruktionen an der Kieferhöhle tomographisch festgestellt werden können.

"Sklerose mit gleichzeitigen Usuren und umschriebener oder diffuser Auflockerung des Knochens ist ein Zeichen

des direkten Tumorübergreifens auf den Knochen. Die Sklerose als Einzelsymptom muß hingegen als rein reaktiv angesehen werden. In der näheren Umgebung eines Tumors ist sie als Vorstufe des Tumorbefalls zu werten." In Verbindung mit Anamnese, positiver Probeexzision und eindeutiger Symptomatik (klinisch) können die Röntgensymptome die richtige Differenzialdiagnose Entzündung/Tumor untermauert werden:

Bei Entzündungen treten reaktiv-sklerotische Veränderungen mit glatten Wandkonturen auf.

Ein Tumor unterscheidet sich davon durch schwammartig aufgelockerte Knochenwand, in der sich porenartige Defekte befinden. Die Wandkonturen sind unscharf.

ad 3. Lokalisation und Ausbreitungsrichtung von Kieferhöhlentumoren

Für die Diagnose und damit verbunden die entsprechende Therapie ist das Wissen der Lokalisation, Ausbreitungsrichtung und Ausdehnung von großer Bedeutung. Dabei läßt sich manchmal die Lokalisation des Primärtumors im Tomogramm nur indirekt mit Hilfe seiner Ausbreitungsrichtung feststellen.

Die Kieferhöhlentumoren werden in der Literatur verschiedenen klassifiziert (2,22). Eine Unterteilung in eine Infra- und eine Suprastruktur (Gebiet unterhalb bzw. oberhalb der mittleren Nasenmuschel), wie sie FLETCHER und JING (9) beschreiben, erscheint mir für diese Arbeit am Übersichtlichsten.

Isolierter Tumorbefall der Kieferhöhle - dies kommt einer Früherkennung gleich - ist relativ selten, denn das Tomogramm läßt meist anhand von Destruktionen eine weitere Ausbreitung erkennen.

Tumoren der S u p r a s t r u k t u r (s. Abb. 4) können sich in folgende Richtungen ausbreiten:

1. In die cellulae ethmoidales und die Nasenhöhle unter Beteiligung der medialen Wand und des maxilloethmoidalen Winkels.
2. In die Orbita durch das Kieferhöhlendach
3. In den Retromaxillarraum unter Beteiligung
 - des maxilloethmoidalen Winkels
 - der fossa pterygopalatina
 - der fossa pterygoidea
4. In posterior-lateraler Richtung in die fossa infratemporalis
5. Durch die faciale Wand in die Weichteile

Tumoren der I n f r a s t r u k t u r (s. Abb. 3) können sich in folgende Richtungen ausbreiten:

1. In die Nasenhöhle oder den harten Gaumen unter Beteiligung der medialen Wand
2. In den Retromaxillarraum unter Beteiligung der hinteren Wand und der Pterygoidfortsätze
3. In den Alveolarkamm und weiter in die Wangenweichteile unter Einbeziehung des Kieferhöhlenbodens und der lateralen Wand

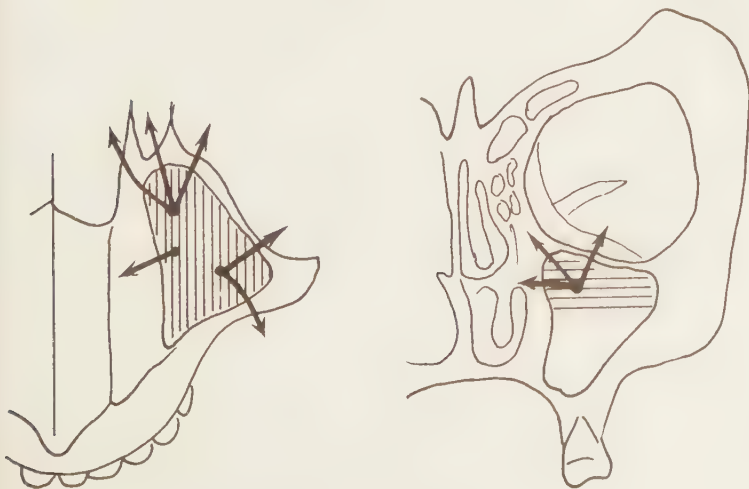
In der Suprastruktur entsprechen folgende künstlich gesetzten Defekte (Buchstaben) den o. g. Durchbruchrichtungen (Zahlen): 2b, 3i, 4c, 5g. In der Infrastruktur: 1a, 2d, 3efh.

Zur Bezeichnung der künstlich gesetzten Defekte siehe S.

Abb. 3: Ausbreitungsrichtung der Tumoren der Infrastruktur



Abb. 4: Ausbreitungsrichtung der Tumoren der Suprastruktur



IV. TOMOGRAPHIE BEI FRAKTUREN AM GESICHTSSCHÄDEL

Die in praxi am Schädel auftretenden Frakturen werden im Übersichtsbild sehr schwer, gar nicht oder in ihrer Ausdehnung nicht vollkommen erkannt (29). Folgende Ursachen kommen dabei in Betracht:

1. Der frakturierte Knochen ist sehr dünn, sodaß bei geringer Dishiszenz des Frakturspaltes kaum Kontrastunterschiede bestehen.
2. Störschatten oder Störlichter beeinträchtigen die Diagnose .
3. Die Strahlenrichtung weicht von der Ebene des Bruchspaltes, der meist seine Richtung vielfach ändert, stärkeren Grades ab.

Durch die drei genannten Punkte sind auch der Tomographie Grenzen gesetzt. Wenn Summationsbilder bzw. Spezialaufnahmen (18) keine ausreichende Information oder nur den Verdacht auf eine Fraktur geben, ist die Tomographie indiziert. Das Tomogramm läßt bessere Informationen über Ausmaß, genauen Verlauf, eventuelle Mitbeteiligung benachbarter Strukturen und Lokalisation versprengter Knochenfragmente erwarten.

NIGST (20) teilt die Brüche in vier Klassen ein, wobei traditionelle Begriffe von Le Fort und Wassmund berücksichtigt werden.

Klasse 1: Infrazygomatikale Frakturen (entspr. Le Fort I)

Klasse 2: Zentrale Frakturen (entspr. Le Fort II und Wassmund I, II)

Klasse 3: Zentrolaterale Frakturen (entspr. Le Fort III und Wassmund III, IV)

Klasse 4: Laterale Frakturen.

REISNER weist nachdrücklich auf die Notwendigkeit genügend enger Schichtabstände und die Anwendung zweier senkrecht zueinander stehender Projektionsebenen hin. Nach Statistiken der letzten Jahre (25) entstehen die meisten (40 - 60 %) Gesichtsschädelfrakturen bei Verkehrsunfällen. Über den Bruchmechanismus typischer Schädelbrüche bei Autounfällen liegen Untersuchungen des Swedish State Power Board vor. Zweithäufigste Ursache stellen Faustschläge dar, es folgen an dritter Stelle Arbeitsunfälle. Die Ursache ist also meist Einwirkung stumpfer Gewalt.

Eine röntgenologische Untersuchung des Gesichtsschädels nach einem Trauma erfolgt in erster Linie auf Grund der klinischen Symptome. Diese können sich verschieden äußern:

1. Extraorale Hämatome, auf Grund des lockeren und gefäßreichen Aufbaus; sie wirken sich auf die Röntgen-diagnostik negativ aus.

Monokelhämatom läßt auf folgende Verletzungen schließen:

- Fraktur des Infraorbitalrandes
- Jochbein- bzw. Jochbogenfraktur
- Einseitiges Stirntrauma
- Einseitige Nasenbeinfraktur
- Blow-out fracture

Brillenhämatom deutet auf:

- Zentrolaterale Mittelgesichtsfraktur
- Stirnhöhlenfraktur
- Nasoethmoidalfraktur

2. Intraorales Hämatom, bei dislozierten und komplizierten UK-Frakturen
3. Hämatosinus, bei OK-Frakturen (tritt klinisch kaum in Erscheinung)

4. Blutungen, bei Einbeziehung von Gefäßen
 - A. facialis bei UK-Verletzungen
 - A. angularis und A. infraorbitalis bei Verletzungen des inneren Augenwinkels
 - Bei Le Fort II und III häufig Blutung aus der Nase
5. Weichteilverletzungen
6. Entstellungen, besonders auffällig bei Nasen- und Jochbeinfrakturen
7. Enophthalmus, bei
 - blow-up fracture
 - Absinken des Orbitabodens
 - Abweichen der lateralen Wand
 - Le Fort III
8. Störung des mandibulären Bewegungsapparates und der Okklusion
9. Sensibilitätsstörungen
10. Abnorme Beweglichkeit

Zu den genannten Symptomen können Atemstörungen und Kreislaufkomplikationen hinzutreten; dies ist meist nur bei polytraumatisierten Patienten der Fall.

V. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Untersuchungsmaterial

Die experimentellen Arbeiten wurden an einem gut erhaltenen mazerierten Schädel durchgeführt, dessen Kalkgehalt dem eines Lebenden weitgehend entsprach. An diesem Schädel waren bereits neun Defekte mit einem Durchmesser von 5 mm vorhanden; JÄKEL (16) hatte sie für seine Untersuchungen an der pneumatisierten Kieferhöhle gebohrt.

Um die durch Weichteile hervorgerufenen Streustrahlen und damit möglichst intravitale Verhältnisse zu imitieren, wurde der Schädel während der Untersuchungen in einen mit Wasser gefüllten Kunststoffbehälter getaucht. Aus Tab. 2, in der die Dichteverhältnisse der Körperbestandteile nach GRASHEY und BIRKNER (12) angegeben sind, ist ersichtlich, daß sich Wasser für diesen Zweck am besten eignet.

Substanz	Dichte ρ/cm^3
Wasser	1,0
feuchtes Muskelgewebe	1,0
Fett	0,92
Knochen	1,9
Lunge nicht kollabiert	1,2
Luft	0,0013

Tab. 2

Um das Eindringen von Wasser in den Knochen zu verhin-

dern, wurde er mit Lack überzogen.

Durch die an der Kieferhöhlenwand gesetzten Defekte konnte Wasser in die Kieferhöhle gelangen. Dadurch wurde eine Verschattung auf dem Tomogramm dargestellt. Bei Defekten, die durch eine dicke Spongiosaschicht gebohrt wurden, konnte Wasser in diese Schicht eindringen, wodurch an dieser Stelle Gewebsinfiltration imitiert wurde.

Um den Schädel während der Aufnahme zu fixieren und um ihn für die verschiedenen Projektionsrichtungen entsprechend drehen zu können, wurde die Vorrichtung von JÄKEL (16), Abb. 5, verwendet. Damit war sichergestellt, daß bei den verschiedenen Serien eines Defektes die jeweiligen Schichttiefen einer Projektionsrichtung sich entsprachen.

Die Vorrichtung bestand aus einem rechtwinkligen Holzgestell mit einem angeschraubten Kinostativkopf. Dieser war drehbar und mit einer Gradskala versehen. Die Skala wies in Abständen von 15° Markierungen auf. An der Spitze des Stativkopfes war ein Außengewinde, an dem der Schädel befestigt wurde.

Mit selbsthärtendem Kunststoff wurde am Schädeldach eine Schraube mit Innengewinde angebracht, um den Schädel in der sagittalen Lage fixieren und davon ausgehend ihn nach rechts und links drehen zu können. Eine zweite Schraube wurde am os temporale befestigt, um den Schädel für den axialen Strahlengang zu fixieren.

Die Schrauben wurden parallel zur Ebene der Deutschen Horizontalen und der Medianebene befestigt.

Die Untersuchungen wurden am Schichtgerät POLYTOME (Philips-Massiot) mit hypozykloider Verwischung durchgeführt. Es wurden jeweils vier Tomogramme auf Universalfolien von 24x30 cm geschichtet, die anschließend in einem Automaten entwickelt, fixiert, gewässert und getrocknet wurden.

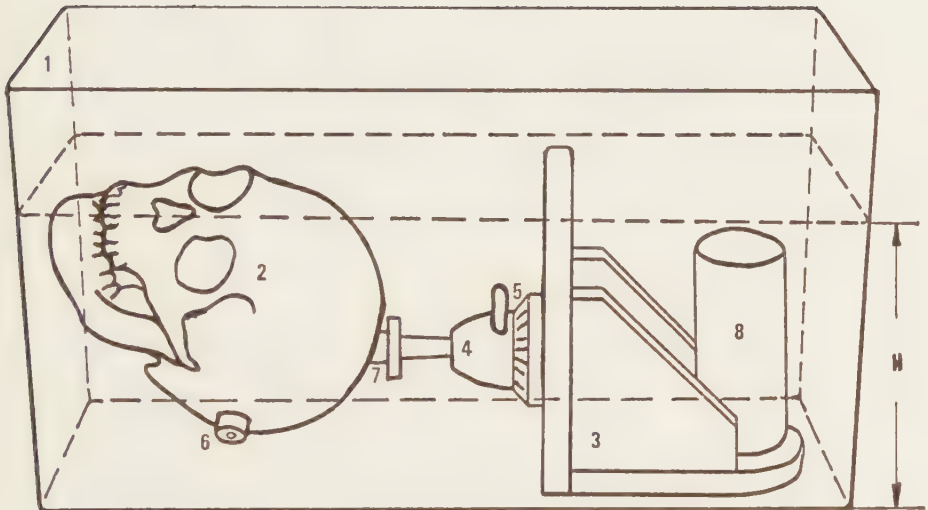


Abb. 5 (nach Jäkel)

H = Höhe Wasserspiegel zwischen 10 cm (bitemporal)
und 17 cm (a.-p.)

1 = Kunststoffbecken

2 = mazerierter Schädel mit abgedichteten Kieferhöhlen

3 = rechtwinkliges Holzgestell

4 = Kinostativkopf

5 = Gradskala mit Strichmarkierungen von 15°

6 = Schraube für axiale Einstellung

7 = Schraube für die übrigen angewendeten Projektionen

8 = Eisenzylinder

Technische Bedingungen:

Abstand Focus/Schichtebene	110 cm
Abstand Schichtebene/Film	35 cm
Vergrößerung dar. result.	1,3
Dauer der hypozykloiden Bewegung	6 sec.
Aufnahmespannung ,	50 - 75 KV
Stromstärke	1 mm
Pendelwinkel	48°
Brennfleck	1 mm

2. Versuchsmethodik

Zunächst wurde der Schädel - neun schon vorhandene Defekte mit 5 mm Durchmesser stammten von JÄKELS (16) Untersuchungen (s. Kapitel Untersuchungsmaterial) - nach der Deutschen Horizontalen und der Medianebene einjustiert und in den mit Wasser gefüllten Behälter getaucht. Dabei mußte aus allen Nebenhöhlen die Luft entweichen können.

Die Kieferhöhle wurde in sieben verschiedenen Projektionsrichtungen (a.-p., bitemporal, axial, a.-p. 30° n. li. u. n. re., a.-p. 60° n. li. u. n. re.) tomografiert. So erhielt man jeweils eine Serie der Defekte mit 2, 3, 4 und 5 mm Durchmesser. Der Schichtabstand betrug konstant 2 mm.

Die erste Serie wurde mit den bereits vorhandenen 5-mm-Defekten geschichtet. Diese "Null-Serie" diente bei der Auswertung als Vergleich zu den folgenden Serien.

Danach wurden auf der gegenüberliegenden Seite entsprechend den bereits vorhandenen 5-mm-Defekten neun Defekte mit 2 mm Durchmesser gebohrt. Dies umfaßte die zweite Serie. Bei der folgenden wurde der Defektdurchmesser auf

3 mm erweitert.

Gleichzeitig mit dem Bohren des 4-mm-Defekts wurde der kontralaterale 5-mm-Defekt, soweit es seine Knochendicke zuließ, arrodirt und die Frakturen eingefräst.

Die vorliegenden Serien wurden dann ausgewertet. Da die nicht arroderten 5-mm-Defekte auf den ersten drei Serien immer abgebildet waren, konnten diese zu ihrer Auswertung benutzt werden. So ergaben sich bei den 5-mm-Defekten direkte Vergleichsmöglichkeiten mit den Untersuchungsergebnissen der pneumatisierten Kieferhöhle, da die Defekte identisch waren. Diese Tatsache ist auf den Auswertungstabellen jedes Defekts besonders berücksichtigt. In die Defekte, die sich überhaupt nicht oder nur mit Kenntnis ihrer anatomischen Lage erkennen ließen, wurden Metallstückchen eingebracht und mit Wachs fixiert. Sie wurden nochmals in den fraglichen Projektionen geschichtet, um so eine Fehlinterpretation und damit eine Fehldiagnose auszuschließen. Wurde der Defekt auf diese Weise identifiziert, so konnte er bestenfalls mit (+) bezeichnet werden. Dies bedeutet letzten Endes aber: Nicht diagnostizierbar.

Von den Frakturen lag 1 Tomogrammserie vor (= Serie des 4 mm-Defekts). Für die Auswertung bezüglich des Informationsinhaltes wurden Summationsbilder in den 7 verschiedenen Projektionen angefertigt.

3. Lokalisation der künstlich gesetzten Defekte und Frakturen

Es wurden in Anlehnung an die Ausbreitungsrichtungen von Tumoren der Kieferhöhle nach FLETCHER und JING (9) neun Defekte gesetzt; sie entsprachen denen von JÄKEL (16). Folgende Defekte wurden gebohrt:

- Defekt a: Durch die linke mediale Kieferhöhlenwand unterhalb der concha inferior
- "- b: Durch die linke obere Kieferhöhlenwand bzw. das planum orbitale in die Orbita
- "- c: Durch die linke laterale Kieferhöhlenwand in die fossa infratemporalis
- "- d: Durch die linke hintere Kieferhöhlenwand in die fossa pterygoidea
- "- e: Durch die linke laterale Kieferhöhlenwand unterhalb des processus zygomaticus
- "- f: Durch die linke untere Kieferhöhlenwand zum processus palatinus
- "- g: Durch rechte vordere Kieferhöhlenwand unterhalb des foramen infraorbitale
- "- h: Durch die rechte laterale Kieferhöhlenwand oberhalb des Zahnes 18 am tuber maxillae
- "- i: Durch die rechte hintere Kieferhöhlenwand in die fossa pterygopalatina

Die Defekte a, d, e, f und h gehören zur Infrastruktur, die Defekte b, c, g und i zur Suprastruktur. Abb. 6, 7 und 8 zeigen die Lokalisation der gebohrten Defekte.

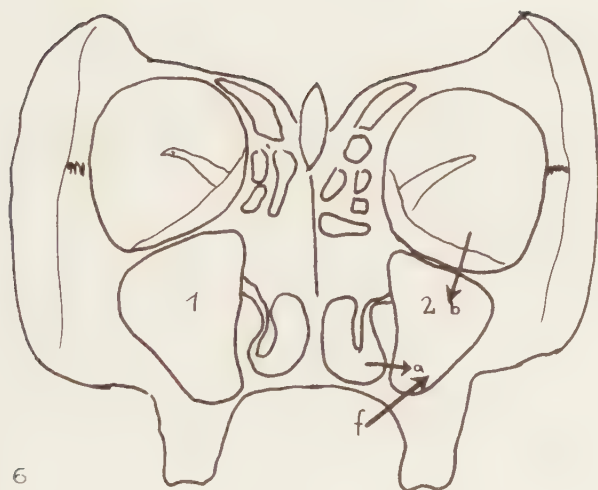


Abb. 6

Abb. 6, 7 u. 8: Anatomische Lage der Defekte

- 1 = rechte Kieferhöhle
- 2 = linke Kieferhöhle
- 3 = fossa pterygopalatina
- 4 = fossa pterygoidea

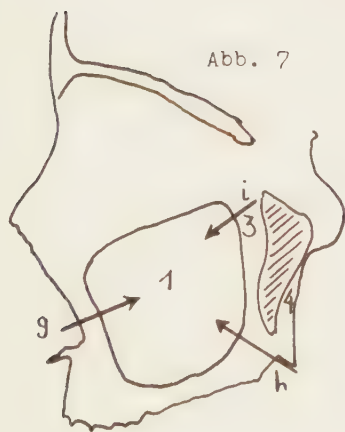


Abb. 7

Abb. 8



entsprechend den häufigsten Mittelgesichtsfrakturen wurden folgende Frakturen gesetzt:

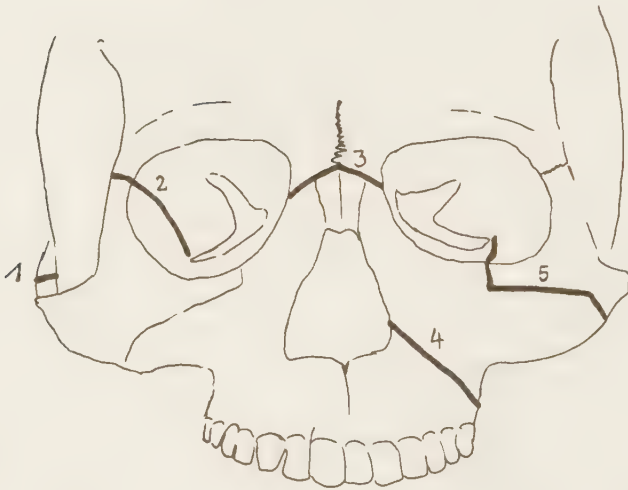
Fraktur 1: In der sutura temporozygomatica (re. Seite)

-"- 2: Durch die sutura speno-u. frontozygomatica (re. Seite)

-"- 3: Entlang der sutura frontonasalis und frontomaxillaris (beidseitig)

-"- 4: Von der vorderen medialen Wand der Kieferhöhle in Höhe der concha nasalis inferior zur crista zygomaticoalveolaris in Höhe der Wurzelspitze vom Zahn 26

-"- 5: Durch die sutura zygomaticomaxillaris (li.Seite)



4. Auswertung (Ergebnisse, Tabellen und Skizzen)

Zeichenerklärung:

- ++ = Defekt eindeutig erkennbar und diagnostizierbar
- + = Defekt erkennbar und diagnostizierbar
- (+) = Defekt nur mit Kenntnis seiner anatomischen Lage erkennbar, nicht diagnostizierbar

- F = Profildefekt: Der Defekt wird vom Zentralstrahl tangential getroffen.
- A = Aufsichtsdefekt: Der Zentralstrahl trifft die Defektoberfläche senkrecht.
- S = Schrägdefekt: Variation zwischen P und A
- 1) = Zum Vergleich die Ergebnisse des 5-mm-Defekts der pneumatisierten Kieferhöhle

Die Ergebnisse der 5-mm-Defekte stehen gesondert in der Tabelle, da die Defekte identisch sind mit denen der pneumatisierten Kieferhöhle.

Die zu den Defekten gehörigen Abbildungen sind Skizzen der Tomogramme der 5-mm-Defekte (modifiziert nach JÄKEL).

Defekt a : Defekt durch die linke mediale Kieferhöhlenwand unterhalb der concha inferior.
a.-p.-Drehung nach rechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm
a.-p.	+ P	+ P	++ P	++ P ++ P ₁)
a.-p. 30° n. li.	(+)S	+ S	++ S	+ S + P ₁)
a.-p. 30° n. re.	+ S	(+)S	+ S	+ S ++ S ₁)
a.-p. 60° n. li.	+ A	+ A	+ A	- (+)A ₁)
a.-p. 60° n. re.	+ S	+ S	+ S	+ S ++ A ₁)
bitemporal	-	(+)S	+ S	+ S + A ₁)
axial	-	-	-	- - ₁)

Die Knochenwand wies an der Stelle des Defekts eine unterschiedliche Dicke von 1 - 3 mm auf. Hierauf beruht die gute Darstellbarkeit in fast allen Projektionen. Die etwas schlechtere Erkennbarkeit des 5-mm- im Vergleich zum 4-mm-Defekt ist mit der dünneren Knochenstärke (0,8 mm) der Gegenseite zu erklären.



Abb. 10: Defekt a (5mm) im a.-p. Tomogramm

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 = rechte Kieferhöhle | 4 = sinus frontalis |
| 2 = linke Kieferhöhle | 5 = crista galli |
| 3 = Orbita | |

Vergleicht man den 5-mm-Defekt mit dem der pneumatisierten Kieferhöhle, so sind die Ergebnisse annähernd gleich.

Der sagittale Strahlengang erwies sich für die Diagnose als am besten geeignet, da hier der Defekt im Profil erschien. Die bitemporale Projektionsrichtung war weniger geeignet; als völlig ungeeignet erwies sich die axiale.

Defekt b : Defekt durch die linke obere Kieferhöhlenwand bzw. das planum orbitale in die Orbita.

a.-p.-Drehung nachrechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm
a.-p.	-	-	-	(+)P (+)P ₁)
a.-p. 30° n. li.	-	-	-	(+)P + P ₁)
a.-p. 30° n. re.	-	-	-	- (+)P ₁)
a.-p. 60° n. li.	-	-	-	(+)P (+)P ₁)
a.-p. 60° n. re.	-	-	-	- (+)P ₁)
bitemporal	-	-	-	(+)P -1)
axial	-	-	-	- -1)

Der Defekt wurde medial vom canalis infraorbitalis gebohrt. An dieser Stelle betrug die Knochenstärke nur etwa 0,2 mm. Aus diesem Grund ließ sich der Defekt auch mit Hilfe von Metallmarkierungen auf Kontrollbildern bis zu einem Durchmesser von 4 mm nicht nachweisen. Selbst bei einer Größe von 5 mm konnte er nur mit Kennt-

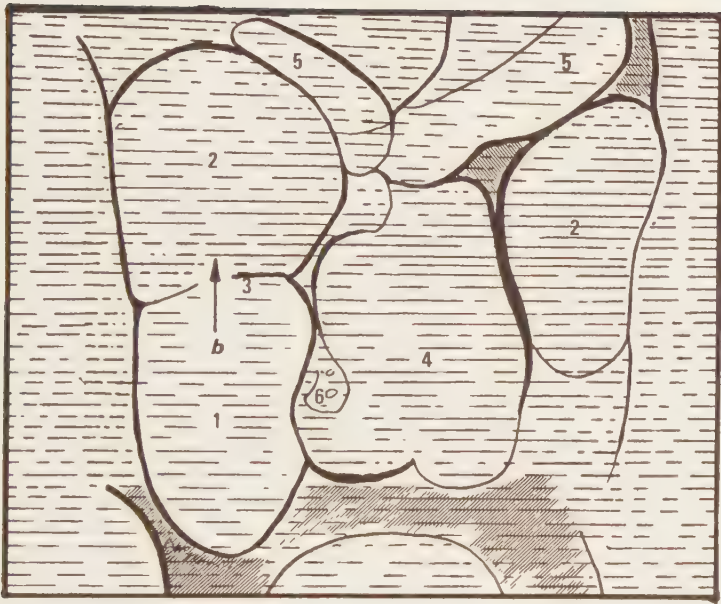


Abb. 11: Defekt b im a.-p. Tomogramm mit Drehung um 30° nach links

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1 = Kieferhöhle | 4 = Nasenhöhle |
| 2 = Orbita | 5 = sinus frontalis |
| 3 = obere Kieferhöhlenwand | 6 = concha nasalis inf. |

nis seiner anatomischen Lage erkannt werden. Der Grund dafür ist in der etwas dickeren Wand (aber auch nur 0,4 mm) der gegenüberliegenden Seite zu suchen. Schon die Wandstärke von 0,4 mm ließ keine überragenden Darstellungsmöglichkeiten erwarten. Zusätzlich negativ auf die Detaillierkennbarkeit wirkte sich das kontrastvermindernde Wasser aus.

Defekt c : Defekt durch die linke laterale Kieferhöhlenwand in die fossa infratemporalis.
a.-p.-Drehung nach rechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm	5mm arrod.
a.-p.	(+)P	+ P	+ P	++ P ++ P ₁)	+ P
a.-p. 30° n. li.	+ S	+S	+ S	+ P ++ P ₁)	+ P
a.-p. 30° n. re.	-	(+)P	+ P	+ S + S ₁)	-
a.-p. 60° n. li.	+ A	+ A	+ A	+ S + S ₁)	+ S
a.-p. 60° n. re.	(+)S	(+)S	+ S	++ A (+)A ₁)	+ A
bitemporal	+ S	+ S	++ S	++ S + S ₁)	+ S
axial	-	(+)P	(+)P	(+)P (+)P	(+)P

Im Gegensatz zum 5-mm-Defekt der anderen Kieferhöhle (0,7 mm) wies hier die Knochenwand eine Dicke von durchschnittlich 1 mm auf; der Knochen bestand vorwiegend aus Kompakta. Hieraus resultiert auch die allgemein gute Darstellbarkeit.

Als am besten geeignet erwies sich die Projektion in a.-p., in der sich der Defekt im Profil zeigte. Dies ermöglichte eine einwandfreie Diagnose.

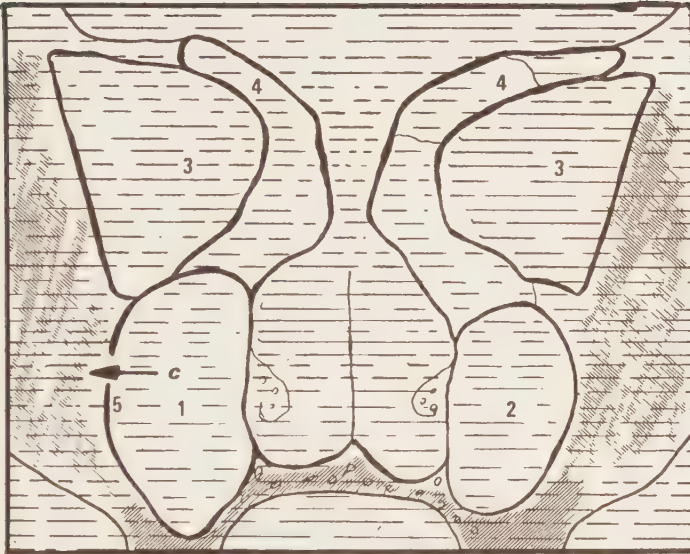


Abb. 12: Defekt c (5mm) im a.-p. Tomogramm

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1 = rechte Kieferhöhle | 4 = sinus frontalis |
| 2 = linke Kieferhöhle | 5 = lat. Kieferhöhlenwand |
| 3 = Orbita | |

Außerdem ist die Projektion bei bitemporalem Strahlengang sehr gut; der Defekt wurde hier jedoch schräg getroffen.

Durch Arrosion war der Defekt weiterhin diagnostizierbar. Der dadurch dünnere Knochen in der Umgebung des Defekts wirkte sich jedoch auf seine Konturenerkennbarkeit nachteilig aus.

Defekt d : Defekt durch die linke hintere Kieferhöhlenwand in die fossa pterygoidea.
a.-p.-Drehung nach rechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm
a.-p.	(+)A	++ A	++A	++ A ++ A ₁)
a.-p. 30° n. li.	-	+ S	+ S	++ S ++ S ₁)
a.-p. 30° n. re.	-	(+)S	(+)S	++ S ++ S ₁)
a.-p. 60° n. li.	-	-	-	(+)P ++ P ₁)
a.-p. 60° n. re.	-	(+)P	(+)P	++ P + P ₁)
bitemporal	+ P	+ P	++ P	++ P ++ P ₁)
axial	(+)P	+ P	+ P	+ P ++ P ₁)

Der Defekt wurde durch eine ca. 3,5 mm starke Knochenwand gebohrt. Daraus ergaben sich relativ günstige Ergebnisse in den drei Standardprojektionen: Der Defekt ließ sich im Profil bei bitemporalem Strahlengang am besten nachweisen, in Aufsicht bei sagittalem. Drehungen aus der sagittalen erwiesen sich als weniger geeignet.



Abb. 13: Defekt d (5mm) im bitemporalen Tomogramm

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1 = rechte Kieferhöhle | 5 = fossa pterygopalatina |
| 2 = fossa pterygoidea | 6 = os sphenoidale |
| 3 = processus pterygoideus | 7 = Orbita |
| 4 = proc. alveolaris maxillae | 8 = sinus frontalis |

Im Vergleich zum Defekt der pneumatisierten Kieferhöhle zeigten sich in den geeigneten Projektionen keine Unterschiede.

Defekt e : Defekt durch die linke laterale Kieferhöhlenwand unterhalb des processus zygomaticus.

a.-p.-Drehung nach rechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm	5mm arrod.
a.-p.	+ P	++ P	++ P	++ P ++ P ₁)	+ P
a.-p. 30° n.li.	+ P	+ P	++ P	++ P ++ P ₁)	+ F
a.-p. 30° n.re.	-	+ P	++ P	+ P ++ P ₁)	(+) P
a.-p. 60° n.li.	(+)S	(+)S	(+)S	++ A ++ A ₁)	+ A
a.-p. 60° n.re.	(+)S	++ S	++ S	++ A ++ A ₁)	+ A
bitemporal	++ A	++ A	++ A	++ A ++ A ₁)	+ A
axial	(+)S	+ S	+ S	++ S ++ S ₁)	++ S

Der durchbohrte Knochen wies an seinem caudalen Rand eine Dicke von 2,5 mm, an seinem kranialen Rand 4 mm auf; an dieser Stelle befand sich vorwiegend Kompakta. Dies wirkte sich positiv auf die Detailerkennbarkeit aus.

Alle Projektionen ergaben brauchbare Ergebnisse.

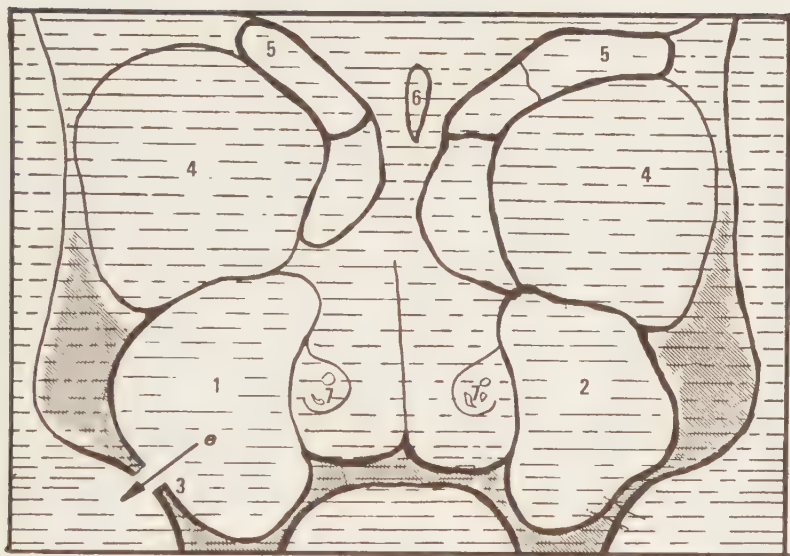


Abb. 14: Defekt e (5mm) im a.-p. Tomogramm

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1 = rechte Kieferhöhle | 5 = sinus frontalis |
| 2 = linke Kieferhöhle | 6 = crista galli |
| 3 = laterale Kieferhöhlenwand | 7 = concha nasalis inf. |
| 4 = Orbita | |

Als besonders vorteilhaft erwiesen sich der sagittale Strahlengang, bei dem sich der Defekt im Profil zeigte, und die bitemporale Projektion, wo er sich in Aufsicht darstellte.

Da der Knochen sehr dick war und Strahlen gut absorbier- te, konnte im Vergleich zur pneumatisierten Kieferhöhle keine Beeinträchtigung der Darstellbarkeit festgestellt werden.

Defekt f : Defektdurch die linke untere Kieferhöhlenwand zum processus palatinus.
a.-p.-Drehung nach rechts = in Richtung STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm	5mm arrod.
a.-p.	(+)P	+ P	+ P	++ P ++ P ₁)	++ P
a.-p. 30° n.li.	-	-	(+)P	++ P ++ S ₁)	++ P
a.-p. 30° n.re.	-	-	-	(+)S -1)	(+)S
a.-p. 60° n. li.	-	-	-	+ S + S ₁)	+ S
a.-p. 60° n.re.	-	-	-	+ S + S ₁)	+ S
bitemporal	-	-	-	+ S ++ S ₁)	(+)S
axial	-	-	-	- (+)S ₁)	-

Die Wand an der Stelle des Defekts war stark gekrümmt; Ihre Dicke betrug unterschiedlich 1 - 2,5 mm, wobei die Spongiosastruktur überwog.

Nur in der a.-p. Projektion ließen sich brauchbare Ergebnisse erzielen. Insgesamt war der Defekt schlecht zu diagnostizieren. Zum einen ist der Grund dafür in der starken Wandkrümmung, zum anderen in der Lokalisation in unmittelbarer Nähe einer Zahnwurzel zu suchen. Der 5-mm-Defekt erwies sich im Vergleich zu dem der



Abb. 15: Defekt f (5mm) im a.-p. Tomogramm

1 = rechte Kieferhöhle

4 = Orbita

2 = linke Kieferhöhle

5 = sinus frontalis

3 = processus palatinus

pneumatisierten Kieferhöhle als ebenso erkennbar.

Da die Arrosion geringfügig war, wirkte sie sich kaum auf die Diagnostizierbarkeit aus.

Defekt g : Defekt durch die rechte vordere Kieferhöhlenwand unterhalb des foramen infraorbitale
a.-p.-Drehung nach links = in Richtung
STENVERS-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm	5mm arrod.
a.-p.	-	-	-	++ A ++ A ₁)	+ A
a.-p. 30° n.li.	-	-	-	- + S ₁)	-
a.-p. 30° n.re.	-	-	-	++ A ++ A ₁)	(+)A
a.-p. 60° n.li.	-	-	-	- + P ₁)	-
a.-p. 60° n.re.	-	-	-	++ S ++ S ₁)	+ S
bitemporal	-	-	(+)S	(+)S ++ S ₁)	-
axial	-	(+)P	(+)P	+ P ++ P ₁)	+ P

Die Kieferhöhlenwand wies an der Stelle des Defektes eine Stärke von nur 0,2 - 0,3 mm auf. Aus diesem Grunde war er bis zu einem Durchmesser von 4 mm in keiner Projektion diagnostizierbar. In der bitemporalen Projektion konnte er auch mit Hilfe einer zusätzlichen Kontrollaufnahme (Metallstückchen) nur schlecht nachgewiesen werden. Dafür ist der sehr dünne Knochen und das die Knochenwand



Abb. 16: Defekt g (5mm) im axialen Tomogramm

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1 = rechte Kieferhöhle | 6 = processus zygomaticus |
| 2 = linke Kieferhöhle | 7 = ramus mandibulae |
| 3 = processus palatinus | 8 = condylus occipitalis |
| 4 = vordere Kieferhöhlenwand | 9 = foramen magnum |
| 5 = fossa pterygoidea | |

beidseitig umgebende Wasser verantwortlich. Somit war kein genügend großer Kontrastunterschied gegeben. Für den kontralateralen 5-mm-Defekt (0,5 mm) erwiesen sich alle Projektionen als geeignet, ausgenommen die bitemporale und die Drehungen zur gefragten Seite. Bei den geeigneten Strahlengängen bestand Übereinstimmung der Ergebnisse mit denen der pneumat. Kieferhöhle.

Defekt h: Defekt durch die rechte laterale Kieferhöhlenwand oberhalb des Zahnes 18 am tuber maxillae.

a.-p.-Drehung nach links = in Richtung STENVER-Projektion.

	2mm	3mm	4mm	5mm	5mm arrod.
a.-p.	-	-	-	+ S + S ₁)	+ S
a.-p. 30° n.li.	-	(+)P	+ P	+ S + S ₁)	+ S
a.-p. 30° n.re.	-	(+)S	+ S	+ P + P ₁)	+ P
a.-p. 60° n.li.	(+)P	(+)P	(+)P	++ A ++ A ₁)	+ A
a.-p. 60° n.re.	(+)A	+ A	++ A	+ P ++ P ₁)	+ P
bitemporal	+ S	++ S	++ S	++ S ++ S ₁)	+ S
axial	-	-	-	- - 1)	-

Der Knochen war 2 mm stark und bestand vorwiegend aus Spongiosa.

Als beste Projektionen sind die bitemporale und die Drehungen nach rechts zu bewerten.

Nachteilig wirkte sich die Nachbarschaft des Zahnes 18 auf die Darstellung in sagittalem und insbesondere in axialem Strahlengang aus.

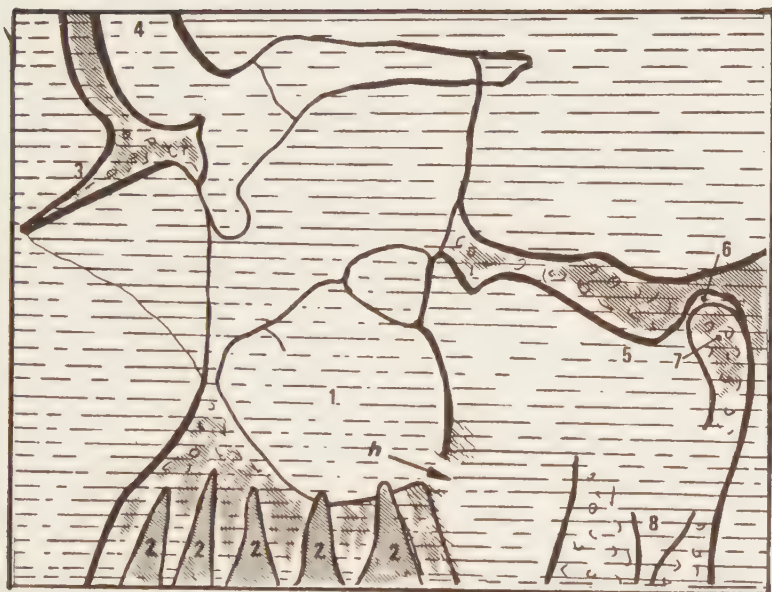


Abb. 17: Defekt h (5mm) im a.-p. Tomogramm mit Drehung um 60° nach rechts

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 = linke Kieferhöhle | 5 = tuberculum articulare |
| 2 = Zahnwurzeln | 6 = fossa mandibularis |
| 3 = os nasale | 7 = caput mandibulae |
| 4 = sinus frontalis | 8 = foramen mandibulae |

Die Resultate des 5-mm-Defekts bei verschatteter und pneumatisierter Kieferhöhle wiesen keine Unterschiede auf. Der arrodierter 5-mm-Defekt war nur wenig schlechter zu erkennen, da die Arrosion kleine Ausmaße hatte.

Defekt i : Defekt durch die rechte hintere Kieferhöhlenwand in die fossa pterygopalatina.
a.-p.-Drehung nach links = in Richtung STENVERS-Projektion.

	3mm	4mm	5mm
a.-p.	-	(+)	- -1)
a.-p. 30° n. li.	-	-	- -1)
a.-p. 30° n. re.	-	-	- -1)
a.-p. 60° n. li.	-	(+)	- -1)
a.-p. 60° n. re.	-	-	- -1)
axial	-	-	(+)S -1)

Der Defekt ließ sich wegen seiner extrem dünnen Wandung (0,1 - 0,2 mm) nie diagnostizieren. Die Ergebnisse in der Tabelle waren nur mit zusätzlich markierten Kontrollaufnahmen zu erreichen.

Fraktur 1: Fraktur in der sutura temporozygomatica (re. Seite)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	axial	bitemp.
Übers.	-	-	-	-	-	-	-
Tomo	-	++	-	++	++	-	++

Der Bruchspalt betrug ca. 0,5 mm. Im Summationsbild stellte sich die Fraktur in keiner Projektion dar. Der Frakturspalt wurde stets überlagert.

Im Tomogramm ließ er sich in seiner gesamten Ausdehnung in den Drehungen um 30° n. li., 60° n. li., 60° n. re. und im bitemporalen Strahlengang sehr gut erkennen; hier wurde die Fraktur in Aufsicht getroffen, der stark strahlenabsorbierende Knochen des Jochbeins konnte nicht stören.

Fraktur 2: Fraktur durch die sutura spheno- u. frontozygomatica (re. Seite)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	axial	bitemp.
Übers.	+b	+a	++	-	+a	-	-
Tomo	+b	+a	++	++a	++	-	++a

Die Fraktur wies zwei verschiedene Verlaufsrichtungen auf:

a: Von dorso-kranial nach ventro-caudal

b: Von latero-kranial nach medio-caudal

Im Übersichtsbild war ihre ganze Ausdehnung in der Drehung um 30° nach re. (zur gesuchten Seite) einwandfrei zu erkennen. Hier überlagerten die Fraktur keine Störschatten. Im Tomogramm ließ sie sich in einer einzigen Schichtebene bei Drehung um 60° n. re. nachweisen. Eine

Mehrinformation in dieser Projektion war deshalb möglich, da das os nasale nicht als Störschatten auftrat, wie es beim Summationsbild der Fall war.

Im allgemeinen keine entscheidende Mehrinformation im Tomogramm.

Fraktur 3: Fraktur entlang der sutura frontonasalis und frontomaxillaris (beidseitig)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	axial	bitemp.
Übers.	(+)	-	-	++	++	-	++
Tomo	++	++	++	++	++	-	++

Selbst bei einem derartig tiefgehenden Frakturspalt mit Dishiszenz von etwa 1 mm waren die meisten Übersichtsbilder für einen Nachweis ungeeignet. Hieran je nach Projektionsrichtung die Überlagerung des Frakturspalt mit den stark absorbierenden Knochen des Felsenbeins, des Oberkiefers und den dicken Knochen der direkten Umgebung verantwortlich. Nur in den 60°-Drehungen, bei denen die störenden Summationseffekte wegfielen, war die Fraktur der gegenüberliegenden Seite dargestellt. Zusätzliche Aufschlüsse über die Tiefe der Fraktur ließen sich mit der Tomographie in fast allen Projektionen erzielen.

Fraktur 4: Von der vorderen medialen Wand der Kieferhöhle in Höhe der concha nasalis inferior zur crista zygomaticoalveolaris in Höhe der Wurzelspitze vom Zahn 26 (li. Seite)

Im Übersichtsbild stellte sich die Fraktur in den Drehungen zur gegenüberliegenden Seite und in a.-p. in ih-

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	axial	bitemp.
Übers.	+	+	++	-	++	-	-
Tomo	+	+	++	+	++	-	++

rer gesamten Länge in Aufsicht dar. Bei den übrigen wirkten sich starke Störschatten nachteilig aus.

Das Tomogramm brachte nur in der bitemporalen Projektionsrichtung Mehrinformation über den Verlauf. Im allgemeinen genügt die Übersichtsaufnahme für die Erkennung.

Fraktur 5: Fraktur durch die sutura zygomaticomaxillaris (li. Seite)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	axial	bitemp.
Übers.	-	+b	+c	-	-	+b	-
Tomo	++	++	++bc	++	+	++a	-

Die Fraktur wies drei verschiedene Verlaufsrichtungen auf:

a: Beginnend im Orbitaboden, von dorsal nach ventral

b: Unterhalb der Orbita nach lateral verlaufend (annähernd waagrecht)

c: Das letzte Teilstück nach caudal

Diese Tatsache und der massive Knochen um die sutura zygomaticomaxillaris sind Ursache für die schlechte Darstellbarkeit (gar nicht oder nur teilweise).

Wichtig bei dieser Fraktur ist die Beantwortung der Frage nach einer Orbitabodenbeteiligung. Diese wurde nur im Tomogramm einwandfrei in den Drehungen nach links (zur gesuchten Seite) und in a.-p. nachgewiesen. In der axialen Projektion wurde eine Nichtbeteiligung des Orbitabodens vorgetäuscht.

VI. DISKUSSION

Um die gleichen Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden die vorliegenden Untersuchungen an dem selben mazerierten Schädel, mit dem JÄKEL (16) gearbeitet hatte, vorgenommen. Die Verwischung war hypozykloidal. Um die am Lebenden durch Weichteile entstandenen Streustrahlen zu erzeugen, wurde der Schädel in Wasser getaucht. Er war mit Lack überzogen, um das Einsickern von Wasser in den Knochen so gut wie möglich zu verhindern.

Beim Einjustieren und bei den Drehungen des Schädels am Stativkopf konnten geringfügige, im Vergleich zu klinischen Verhältnissen vernachlässigbar kleine Fehler auftreten sein.

Verschiedene Autoren fordern für die Diagnose eines Defekts mindestens zwei Projektionsebenen, nämlich a.-p. und bitemporal. JÄKEL (16) fand, daß die Hauptprojektionen für die Diagnose eines Defekts der Kieferhöhle nicht immer ausreichend sind. Er empfiehlt zusätzlich Drehungen des Schädels aus der sagittalen Schädellage. Der axiale Strahlengang ist meistens ungeeignet.

Auf Grund der von mir durchgeführten Untersuchungen ergibt sich folgendes Bild für die Projektionsrichtungen: Bei den Ergebnissen der ab 2 mm Durchmesser diagnostizierbaren Defekte war nur der Defekt e in mindestens 2 Hauptprojektionen darstellbar (Tab.6). Die axiale Projektion erwies sich hier als ungeeignet; auch bei Defektdurchmessern von 2 - 4 mm informierte sie nur bei 2 von insgesamt 9 Defekten (Tab. 3).

Für die klinisch besonders wichtige Darstellung im Profil eignete sich am besten der sagittale Strahlengang. Diesbezüglich erwiesen sich die Nebenprojektionen (Drehungen aus der sagittalen Schädellage um 30°

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	bit	ax
a	x						
b							
c	x		x				
d						x	x
e	x	x	x				
f	x						
g							
h		x					
i							

Tabelle 4 Darstellungsmöglichkeit im Profil.
(Defekte bis 4mm)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	bit	ax
a				x			
b							
c				x			
d	x						
e						x	
f	x						
g							
h					x		
i							

Tabelle 5 Darstellungsmöglichkeit in Aufsicht.
(Defekte bis 4mm)

	a.-p.	30°li	30°re	60°li	60°re	bit	ax
a	x		x	x	x		
b							
c		x		x		x	
d						x	
e	x	x				x	
f							
g							
h						x	
i							

Tabelle 6 Ab 2mm diagnostizierbare Defekte

	a.-p.	30°li	30° re	60°li	60°re	bit	ax
a	2	3	2	2	2	4	
b							
c	3	2	4	2	4	2	
d	3	3	5		5	2	3
e	2	2	3	5	3	2	3
f	3	5		5	5	5	
g	5		5		5		5
h	5	4	4	5	3	2	
i							

Tabelle 7 zeigt, ab welcher Größe ein Defekt in den jeweiligen Projektionen diagnostizierbar ist.

n.li. bzw. n.re.) der bitemporalen und axialen Projektion überlegen (Tab.4).

Die Darstellungsmöglichkeit in Aufsicht zeigt Tab.5. Tab.3 veranschaulicht, daß nicht immer die geforderten Hauptprojektionen für eine einwandfreie Diagnose ausreichend sind. Oft sind Tomogramme in einer Nebenprojektion nötig. Ferner zeigt diese Tabelle, ab welchem Durchmesser ein Defekt diagnostiziert werden konnte.

Tab.7 gibt Auskunft über die Abhängigkeit der Defektdiagnose von Projektion und Durchmesser.

Mit hypozykloider Verwischung, bei gleichzeitig großem Pendelwinkel ist eine Diagnostizierbarkeit kleiner Defekte (Durchmesser 2 - 5 mm) möglich. Sie ist jedoch von folgenden Faktoren abhängig:

1. Von der Dicke der Knochenwand:

Dies zeigte sich deutlich bei den arrodieren Defekten, die grundsätzlich schlechter erkennbar waren; meist konnten sie aber noch diagnostiziert werden (Defekt c, e, f, g, h). Defekt f war nur wenig arrodieren, somit war kaum ein Unterschied in seiner Erkennbarkeit beim Vergleich mit dem nicht arrodieren Defekt.

Als weiterer Beweis dient die verschiedene Knochenstärke bei den sich entsprechenden Defekten: So ließ sich z.B. der Defekt c an der linken Kieferhöhle besser nachweisen als an der rechten, da die Wand hier stärker war.

Da die Wandstärke beim Defekt i nur 0,1 - 0,2 mm betrug, konnte der Defekt nie erkannt werden.

2. Von der Dichte des Knochens:

Die Defekte c und e waren durch dicken Kompaktaknochen (1 mm bzw. 2,5 mm) gebohrt; sie ließen sich

daher in den meisten Projektionen schon bei 2 mm Durchmesser nachweisen. Obwohl der Defekt d sich in einer 4 mm starken Knochenwand befand, wurde er insgesamt etwas schlechter dargestellt. Der Grund dafür ist die Spongiosaschicht an dieser Stelle; diese ist weniger dicht als die Kompaktaschicht bei den Defekten c und e.

Die Absorptionsfähigkeit ist in gewissem Umfang auch von der Dicke des Knochens abhängig. So kann eine sehr dünne Wandung (Defekt b, i), auch wenn sie aus Kompakta besteht, nicht ausreichend diagnostiziert werden.

3. Von der Dichte, des den Knochen umgebenden Materials:

Ausgeprägte Störschatten von Zähnen wirkten sich besonders nachteilig auf die Erkennung des Defekts n im axialen Strahlengang aus. Dies erklärt auch seine allgemein schlechte Diagnostizierbarkeit.

Vergleicht man die Ergebnisse der 5 mm-Defekte der pneumatisierten Kieferhöhle mit denen der wassergefüllten, so läßt sich bei gut absorbierenden Wandungen kein entscheidender Unterschied feststellen, da trotz des durch Wasser entstehenden geringeren Kontrasts der Knochen sich noch deutlich vom Defekt abhob (Defekt e, c).

Bei dünnen und weniger gut absorbierenden Knochen wirkte sich der schlechtere Kontrast ungünstig auf die Erkennbarkeit aus (Defekt a, b, f, g).

4. Von der Wandneigung (bezogen auf die Senkrechte der Schichtebene des angewandten Strahlenganges):

Hieraus erklären sich die verschiedenartigen Ergebnisse: Bei jeder Projektionsänderung ändert sich auch der Neigungswinkel, den die Wand mit der Vertikalen der Schichtebene des angewandten Strahlenganges bildet und somit die Darstellungsmöglichkeit.

Für die Frakturen gilt grundsätzlich das Gleiche wie für die Defekte, jedoch müssen sie in Aufsicht getroffen werden, um erkannt zu werden. Das zur Imitation von Weichteilen vorhandene Wasser wirkte sich nicht nachteilig aus, da die Knochen um die Frakturen gut Strahlen absorbierten.

Das Tomogramm ergab eine offenkundige Mehrinformation, wenn in Projektionen wegen Überlagerungen ein Frakturspalt nicht nachgewiesen werden konnte. Dies war der Fall bei Fraktur 1. Fraktur 3 konnte nur in den 60°-Drehungen störschattenfrei im Übersichtsbild dargestellt werden. Mit Hilfe des Tomogramms konnte man die Tiefe der Fraktur an diesem massiven Knochen in fast allen Projektionen feststellen.

Bei den Übersichtsbildern der Fraktur 5 konnte niemals ihr gesamter Verlauf nachgewiesen werden. Eine Mehrinformation diesbezgl. erbrachte das Tomogramm. Ein Beweis einer Orbitabeteiligung konnte mit Hilfe der Tomographie in den Drehungen zur gefragten Seite erbracht werden.

Allgemein konnten störende Überlagerungen, wie sie im Summationsbild vorhanden sind, durch die Tomographie ausgeschaltet werden.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde im Tomogramm mit hypozykloider Verwischung die Detailerkennbarkeit künstlich gesetzter Defekte (Durchmesser 2 - 5 mm) und Frakturen bei verschatteter Kieferhöhle untersucht. Für die Arbeit wurde ein mazerierter Schädel verwendet, der zur Imitation von Weichteilen in Wasser getaucht wurde. Sieben verschiedene Projektionen wurden geschichtet: 3 Hauptprojektionen und 4 Nebenprojektionen (30° und 60° in Richtung paralleler und axialer Pyramideneinstellung).

Dabei zeigte sich, daß die Tomographie mit hypozykloider Verwischung bedingt geeignet ist (s. unten), Defekte mit kleinen Durchmessern und Frakturspalten mit geringer Dis-sistenz nachzuweisen. Als verläßlichste erwiesen sich die a.-p.- und bitemporale Projektion. Sollten sie nicht ausreichend für die Diagnose sein, so empfiehlt sich die Anwendung der Nebenprojektionen, die meist befriedigende Ergebnisse erbrachten. Der axiale Strahlengang erwies sich als ungeeignet.

Das Tomogramm der Frakturen war durch Fortfall von Störschatten dem Summationsbild überlegen. Es gab bei der Hälfte der Frakturen Mehrinformation über die Ausdehnung; allgemein lieferte es bessere Auskunft über die Tiefe des Frakturspaltes.

Die Detailerkennbarkeit war stets abhängig von Knochenstärke, Knochendichte, dem den Knochen umgebenden Material und von der angewandten Projektion.

Arrodierte Defekte waren schlechter zu erkennen als nicht arrodierte; sie waren aber meist noch diagnostizierbar. Defekte in sehr dünnen Wandungen wurden nicht dargestellt. Mehr oder weniger kleine Unterschiede zu den Ergebnissen der pneumatisierten Kieferhöhle gab es nur bei den dünnen und weniger stark absorbierenden Knochenwandungen. Durch

geringen Kontrast zwischen Kieferhöhle und Defekt einerseits (Verschattung durch Wasser) und Knochen andererseits war die Diagnostizierbarkeit vermindert.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 ALBRECHT, R.: Übersicht über den heutigen Stand der Heilergebnisse bei den Nasennebenhöhlenmalignomen.
Wiss. Zeitschrift Leipzig, math.-naturw. R. 9
(1959/1960), 333.
- 2 BACLESSE, F.: Les cancers du sinus maxillaire de l'ethmoïde et des fosses nasales.
Ann. Oto-Laryng. (Paris) 69 (1952), 465.
- 3 BAIER, H.: Die Schichtuntersuchung der Kieferhöhlen.
Röntgen-Bl. 17 (1964) 245-251.
- 4 BAIER, H.: Was leistet die Schichtaufnahme für die Röntgendiagnostik im Hals-Nasen-ohrenärztlichen Bereich.
Radiologe 4 (1964) 388-392.
- 5 BARTELINK, D.: Röntgenschnitte.
Fortschr. Röntgenstr. 47 (1933) 399-407.
- 6 BAYER, H.; K. WERNER: Schichtuntersuchung der Kieferhöhlen und ihre Fehlerquellen.
Fortschr. Röntgenstr. 66 (1942) 132-135.
- 7 BOCAGE: Franz. Patentschrift Nr. 536464 (1922) Paris.
- 8 EDHOLM, P.: The tomogram, its formation and content.
Acta radiol. (Stockholm) (1960) Suppl 193.
- 9 FLETCHER, G.H., JING, B.S.: The Head and Neck, Chicago 1968.
- 10 FREY, K.W., MÜNDNICH, K.: Das Röntgenschnittbild des Ohres.
Tieme Verlag, Stuttgart 1959.
- 11 GOSEPATH, J., REISNER, K.: Zur Klinik der bösartigen Nasennebenhöhlentumoren unter besonderer Berücksich-

- tigung der Tomographie mit mehrdimensionaler Verwischung.
- Z. Laryng. Rhinol. 11 (1971), 759-775.
- 12 GRASHEY, R., BIRKNER: Atlas typischer Röntgenbilder vom normalen Menschen.
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1955.
- 13 GROSSMANN, G.: Tomographie I.
Fortschr. Röntgenstr. 51 (1935) 61-80.
- 14 GROSSMANN, G.: Tomographie II.
Fortschr. Röntgenstr. 51 (1935) 191-208.
- 15 GROSSMANN, G.: Physikal. u. techn. Grundlagen der Röntgentherapie.
Urban & Schwarzenberg, Berlin 1925.
- 16 JÄKEL, B.: Experimentelle Untersuchungen zur Nachweisbarkeit von Knochendefekten an der Kieferhöhle bei Schichtaufnahmen in hypozykloider Verwischung.
Diss. München 1973.
- 17 LARSSON, L.G., MARTENSSON, G.: Karzinome der Nasennebenhöhlen und Nasenschleimhaut. Eine klinische Studie
Acta oto-laryng. (Stockholm) Suppl. 116 (1954).
- 18 LOEPP, W., LORENZ, R.: Röntgendiagnostik des Schädels.
Thieme Verlag, Stuttgart 1971.
- 19 MASSOL, J.D., A. LE TRENT, J. ALAVOINE: Aspect radiologique pseudo-tumoral de certaines sinusites maxillaires chroniques.
J. Radiol. Electrol. 47 (1966) 698-703.
- 20 NIGST: Spezielle Frakturen- und Luxationslehre.
Thieme Verlag, Stuttgart 1972.
- 21 NICKOL, H.J.: Diagnostische Möglichkeiten der Tomographie mit hypocycloidalen Verwischung im Bereich der Nase und Nasennebenhöhlen.
H.N.O. (Berlin) 12 (1964) 69-74.

- 22 OEHRGREN, L.G.: Malignant tumours of the maxillo-ethmoidal region.
Acta oto-laryng. (Stockholm) Suppl. 19 (1933).
- 23 REISNER, K., J. GOSEPATH: Die Röntgenschnittuntersuchung bei malignen Tumoren des Nasopharynx.
Fortschr. Röntgenstr. 108 (1968) 413-451.
- 24 REISNER, K., J. GOSEPATH: Schädeltomographie.
Thieme Verlag, Stuttgart 1973.
- 25 SCHUCHART: Ursachen, Häufigkeit und Lokalisation d. Frakturen d. Gesichtsschädels.
Fortschr. Kiefer- und Gesichtschir. 11 (1966)
- 26 STIEVE, F.E.: Bevorzugte Darstellung einzelner Körperschichten.
Handbuch der medizin. Radiologie. Hrsg. v. L. DIETHELM u. Mitarb. Bd. III. Springer-Verlag, Berlin (1967) 719-1022.
- 27 SWART, B.: Schichtuntersuchung der Nasennebenhöhlen und der Orbita.
Radiologe 3 (1963) 161-164.
- 28 SWART, B., W. DINGENDORF, H.D. KAPPE: Grundsätze der tomographischen Praxis.
Radiologe 9 (1969) 93-125.
- 29 TÄNZER, A.: Die Verletzung des Mittelgesichts und der vorderen Schädelbasis im Tomogramm.
Fortschr. Kiefer- u. Gesichtschir. 11 (1956) 84-88.
- 30 VALLEBONA

Fortschr. Röntgenstr. 48
- 31 VALLEBONA

- 32 VIETEN, H.: Theorie und Technik der Schichtdarstellung.
In: Das Röntgenschnittbild, hrsg. v. A. GEBAUER,
E. MUNTEAN, E. STUTZ, H. VIETEN, Thieme-Verlag,
Stuttgart 1959.
- 33 WUSTROW, F.: Die Tumoren des Gesichtsschädels.
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1965.
- 34 ZIEDESSES DES PLANTES, B.: Geometrische Probleme der Tomographie .
Röntgenblätter 17 (1964) 357-368.
- 35 ZIEDESSES DES PLANTES, B.: Planigraphie .
Fortschr. Röntgenstr. 47 (1938) 407-411.
- 36 ZIEDESSES DES PLANTES, B.: Eine neue Methode zur Differenzierung in der Röntgenographie.
Acta radiol. (Stockholm), 13 (1932) 182-191.
- 37 ZIPPEL, R.: Zur Symptom. d. Nasennebenhöhlenmalignomen
unt. Berücksichtigung orbitaler Beteiligung.
Wissenschaftl. Zeitschr. Leipzig, math.-naturwiss.
Reihe (1959/60), 263.

Lebenslauf

Am 10. 10. 1948 wurde ich, Wolfgang Illichmann, als viertes von sechs Kindern des Dpl.Ing. Hans Illichmann und dessen Frau Renate, geb. Hansen, in Lindau geboren. Von 1954 bis 1959 besuchte ich die Volksschule in München-Pasing. Anschließend trat ich in das Human. Gymnasium bei St. Stephan in Augsburg ein. Dort legte ich im Juni 1968 das Abitur ab. Von Oktober 1968 bis Oktober 1970 leistete ich Wehrdienst in Regensburg und Traunstein. Seit dem Wintersemester 1970/71 bin ich an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in München für das Fachgebiet Zahnmedizin immatrikuliert. Im Sommersemester 1971 legte ich das Vorphysikum, im Wintersemester 1972/73 das Physikum ab. Im Sommersemester 1976 beendete ich mein Studium mit dem Staatsexamen an der Ludwig-Maximilians-Universität in München.

